

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-106994

(43)Date of publication of application : 23.04.1996

(51)Int.Cl.

H05H 1/46
 C23C 16/50
 C23F 4/00
 H01L 21/3065
 H01L 21/31
 H01P 7/06

(21)Application number : 04-132666

(71)Applicant : SUMITOMO METAL IND LTD
 LAM RES CORP

(22)Date of filing : 25.05.1992

(72)Inventor : CHEN CHING-HWA
 PIRKLE DAVID
 INOUE TAKASHI
 MIYAHARA SHUNJI
 TANAKA MASAHIKO

(30)Priority

Priority number : 91 705523

Priority date : 24.05.1991

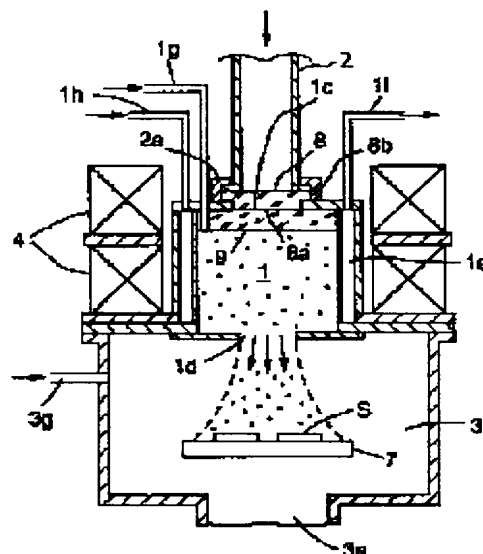
Priority country : US

(54) MICROWAVE PLASMA PROCESSING DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To stably generate a plasma, by suppressing the abnormal reflection of the plasma due to the different level of a waveguid path, through filling a microwave introducing port 1c and part of a plasma generating chamber 1 with a microwave transmitting substance; and by unifying electric field distribution in the chamber, through changing the shape and thickness of the substance.

CONSTITUTION: A cavity resonator is constituted of a hollow cylindrical tube having water-cooling structure in a chamber 1. An inlet 1c and a plasma drawing port 1d are formed on upper and lower parts respectively, and introducing windows 8 and 9, comprised of a transmitting substance, are provided in the inlet 1c. The diameter of the window 9 is nearly equivalent to the diameter of the chamber 1, and the thickness is made the integer magnification of a $1/4$ propagation wavelength to prevent reflection. Gas is supplied through gas pipes 1g and 3g, thereby generating the plasma by ECR in a chamber 1 by an excitation coil 4.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-106994

(43)公開日 平成8年(1996)4月23日

(51)Int.Cl.⁴

H 0 5 H 1/46

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 9216-2G

B 9216-2G

C 2 3 C 16/50

C 2 3 F 4/00

D 9352-4K

H 0 1 L 21/ 302

B

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平4-132666

(22)出願日 平成4年(1992)5月25日

(31)優先権主張番号 7 0 5 5 2 3

(32)優先日 1991年5月24日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(71)出願人 592010081

ラム リサーチ コーポレーション

LAM RESEARCH CORPOR
ATION

アメリカ合衆国, カリフォルニア 95038,
フレモント, クッシング パークウェイ
4650

(74)代理人 弁理士 井内 龍二

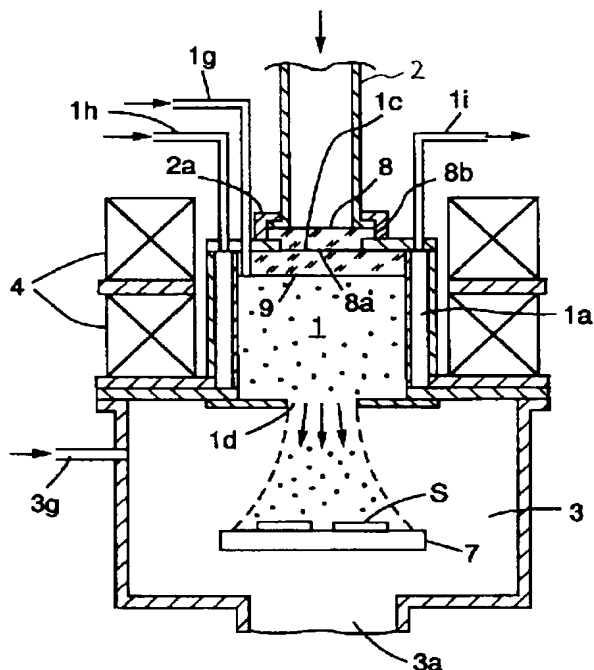
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 マイクロ波プラズマ処理装置

(57)【要約】 (修正行)

【目的】 マイクロ波の導入口1cとプラズマ生成室1の一部をマイクロ波透過性の物質で充填して導波路の段差によるプラズマの異常反射を抑え、該物質の形、厚みを変えて室1内の電界分布を均一化してプラズマを安定に発生させる。

【構成】 室1は水冷構造の中空円筒で空洞共振器を構成し、上部に入口1cが下部にプラズマ引出口1dが形成され、入口1c内に導入窓8、9があり透過性物質から成り、窓9の直径は室1の直径と略等しく、厚さは伝播波長の1/4の整数倍にして反射を防ぐ。又ガス管1g、3gを通しガスを供給し、励磁コイル4により室1内にECRによりプラズマを発生させる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 マイクロ波導入口が開口されたプラズマ生成室を備えたマイクロ波プラズマ処理装置において、前記マイクロ波導入口に面する前記プラズマ生成室の端部に、その全断面にわたってマイクロ波透過性物質が充填されて形成されたマイクロ波導入口が配設されていることを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 2】 マイクロ波導入口が開口されたプラズマ生成室を備えたマイクロ波プラズマ処理装置において、前記プラズマ生成室の内壁面と面一となるようにマイクロ波透過性物質が前記マイクロ波導入口に充填されて形成されたマイクロ波導入口と、前記マイクロ波導入口に面する前記プラズマ生成室の端部にその全断面にわたってマイクロ波透過性物質が充填されて形成されたマイクロ波導入口とを備えていることを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 3】 マイクロ波導入口が開口されたプラズマ生成室を備えたマイクロ波プラズマ処理装置において、中心部で薄く周辺にいくにしたがい厚くなる形状の誘電物質で形成されたマイクロ波導入口を備えていることを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 4】 プラズマ生成室がマイクロ波導入口及びプラズマ引出口が開口された壁によって共振器的な構造となっていることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【産業上の利用分野】本発明は、マイクロ波を用いて発生させたプラズマにより、エッチング、薄膜形成等の処理を行うマイクロ波プラズマ処理装置、特に電子サイクロトロン共鳴（ECR）を利用したマイクロ波プラズマ処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】低ガス圧力下にある真空容器内にマイクロ波を導入し、ガス放電を生起させてプラズマを生成させ、このプラズマを試料基板の表面に照射することにより、エッチング、薄膜形成等の処理を行うプラズマ処理方法及び装置は高集積半導体素子等の製造に欠かせないものとしてその研究開発が進められている。

【0003】特に、低ガス圧力領域で活性度の高いプラズマを生成できる方法として、有磁場マイクロ波プラズマ装置、特に電子サイクロトロン共鳴（ECR）励起によりプラズマを発生させる方法は有望視されている。

【0004】図 13 はエッチング装置として構成した従来におけるマイクロ波を用いた電子サイクロトロン共鳴（ECR）励起を利用するプラズマ処理装置の縦断面図である。

【0005】プラズマ生成室 13 は、冷却水導入室 31a による水冷構造を備え、上部壁の中央には石英ガラス板 31b で封止されたマイクロ波導入口 31c が形成さ

れ、更に下部壁中央には前記マイクロ波導入口 31c と対向する位置にプラズマ引出口 31d が形成されている。前記マイクロ波導入口 31b には他端を図示しないマイクロ波発振器に接続した導波管 32 の一端が接続され、またプラズマ引出口 31d に臨ませて試料室 33 を配設し、更に周囲にはプラズマ生成室 31 及びこれに接続された導波管 32 の一端部にわたってこれらを囲む態様でこれらと同心円状に励磁コイル 34 を配設している。

10 【0006】試料室 33 内には前記プラズマ引出口 31d と対向する位置に試料台 37 が配設され、その上にはウエハー等の試料がそのまま、または静電吸着等の手段によって着脱可能に載置され、また試料室 33 の下部壁あるいは側部壁には、図示しない排気装置による排気口 33a が形成されている。

【0007】ガス供給系 31g、ガス供給系 31g はそれぞれプラズマ生成室 31、試料室 33 に接続されている。冷却水供給系 31h と冷却水排水系 31i によって冷却水導入室 31a 内に冷却水を循環させる。

20 【0008】このようなエッチング装置では、プラズマ生成室 31、試料室 33 内を所要の圧力まで真空排気した後、プラズマ生成室 31 内にガス供給系 31g を通じて、所要のガス圧力が得られるようにガスを供給する。そして、励磁コイル 34 によってプラズマ生成室 31 内に電子サイクロトロン共鳴（ECR）励起に必要な磁界を形成しつつ、マイクロ波導入口を介してプラズマ生成室 31 にマイクロ波を導入し、空洞共振器でもあるプラズマ生成室 31 内でガスを電子サイクロトロン共鳴（ECR）によって励起し、プラズマを生成させる。

30 【0009】生成したプラズマは励磁コイル 34 によって形成される試料室 33 に向かうに従い磁界が減少する発散磁界によって試料室 33 内の試料 S に向かって引き出され、試料 S 表面をエッチングする構成となっている（特開昭 57-133636 号公報、米国特許 4,401,054 号公報）。

【0010】ところで、上述したような従来装置では、プラズマ生成室 31 の上部壁に形成されたマイクロ波導入口 31c はマイクロ波の透過が可能な物質である石英ガラス板 31b によって気密状態に封止されており、この石英ガラス板 31b はさらにその上面が導波管 32 のフランジ 32a と接するような構成で、石英ガラス板 31b を覆うように形成された金属の固定治具 32b によって固定されている。

【0011】このマイクロ波導入口 31c は、マイクロ波がマイクロ波導入口 31b を介し空洞共振器であるプラズマ生成室 31 に導入される時マイクロ波が通過するのであるが、プラズマ生成室 31 の内径とは大きさの異なる開口空間であるので段差部となる。マイクロ波はプラズマ生成室に導入される際、このマイクロ波導入口 31c とプラズマ生成室 31 の内壁との境界（段差部）で

異常反射を起こし、その結果、発生するプラズマの分布の均一性が悪化する等の問題があった。この対策として図14に示されるマイクロ波のプラズマ生成室への導入構造を有する装置が提案されている（特開昭63-318099号公報）。

【0012】図14はこの対策を行った従来のプラズマ処理装置の部分断面図であり、プラズマ生成室31に開口するマイクロ波導入口31c内にこれを充足する態様でプラズマ生成室の内壁面と面一となるようにマイクロ波透過性物質で形成されたマイクロ波導入口48を介在させている。すなわち、マイクロ波導入口48はマイクロ波導入口31cとほぼ等しい直径の円板部48aとこの上部に連なりOリング等を介してプラズマ生成室31を気密状態に封止するフランジ部48bとからなる凸型形状をしており、導波管32の下端に設けたフランジ32aと金属製の固定治具32bにて固定されている。

【0013】このような従来装置ではプラズマ生成室31の上部壁に開口するマイクロ波導入口31cはマイクロ波透過性物質で形成されたマイクロ波導入口48によって隙間なく充足された状態となっており、マイクロ波の異常反射が低減され、プラズマの生成も均一化されることになる。

【0014】しかしながら、このようなマイクロ波導入口をマイクロ波透過物質によって充足する従来装置にあっても、マイクロ波導入口31cとプラズマ生成室31との間の内径が異なる結果生じるマイクロ波の異常反射を完全に抑えることは出来ず、また、マイクロ波自身の有する電界分布には注意が払われなかったため、プラズマの生成の均一化も不十分であった。

【0015】プラズマの均一化を図った装置としては、マルチカスプ磁場を用い、プラズマ生成室のマイクロ波導入にあたりプラズマ生成室の内壁面からマイクロ波を導入する装置が提案されている（特開平2-82524号公報、米国特許4,960,073号公報）。この装置は、エッチング、薄膜形成等の表面処理を対象としている。

【0016】この装置においては、プラズマ引出口を形成する孔を有する石英ガラス板によって、プラズマ生成室が試料室から分離され、そのプラズマ生成室内に磁界を発生するために励磁コイルがそのプラズマ生成室の周囲に配置されている。ガスはプラズマ生成室に接続されたガス導入管によって導入される。プラズマ生成室と反応室は真空ポンプによって真空中に排気される。ガスをプラズマ生成室に導入し、プラズマ生成室に磁界を発生させるために励磁コイルに直流電流を通流し、マイクロ波をプラズマ生成室の上方に設けられたマイクロ波導入口を介して導入することによってプラズマが生成される。

【0017】そして、この装置においては、プラズマ生成室の周りに、その周方向と軸方向の両方向につきそれぞれ複数個であるような複数の補助マグネットを配置

し、かつそれらの補助マグネットの磁性は、前記両方向につき磁性が交互に交替するように形成されているので、プラズマ生成室の内壁近傍に強磁場を設けて、この部分に高密度プラズマを発生させることができ、プラズマ生成室内において全体として均一なプラズマを発生させることが可能な装置となっている。

【0018】さらに、この装置においてはマイクロ波の電界を損失することなく、プラズマ生成室に導入するため、プラズマ生成室の全体もしくは一部に円錐状内壁を備えている。また、この場合、プラズマ生成室の壁をSiO₂等の絶縁体で形成し、該プラズマ生成室へのマイクロ波の導入が、プラズマ生成室の壁側からも行われるように構成し、その効果を高めることも提案されている。

【0019】しかし、この装置においても、マイクロ波の導入部分は平坦な石英ガラス板あるいは厚みについて考慮の無い釣り鐘型の石英ベルジャーが用いられ、マイクロ波の異常反射およびマイクロ波自身の電界に対しては考慮されず、その効果は不十分なものであった。

【0020】また、マイクロ波の導入に注目した装置として、多層構造のマイクロ波導入口を有したマイクロ波イオン源装置が提案されている（米国特許4,857,809号公報）。

【0021】この装置においては、プラズマ生成室へのマイクロ波導入口は主にマイクロ波を導入するための主窓と、プラズマ生成室側の電子の衝突から主窓を保護するための補助窓からなっている。主窓は石英、補助窓はアルミナかアルミナとBNの2層構造が用いられている。

【0022】この装置においては、マイクロ波導入口の近くに電子サイクロトロン共鳴を起こすのに必要とされる以上の磁界を発生させることにより高密度のプラズマをマイクロ波導入口を破壊せずに発生させることが可能となる。

【0023】しかし、この装置においても、マイクロ波の導入口は平坦なものが用いられ厚みについての考慮が無く、マイクロ波の異常反射およびマイクロ波自身の電界に対しては考慮されず、プラズマは高密度ではあるが不均一なものであった。

【0024】また、マイクロ波の導入に注目した別の装置として、マイクロ波の導入部分にホーンアンテナを用いたものが提案されている（米国特許4,987,346号公報）。

【0025】この装置においては、プラズマ生成室はプラズマ中の不純物を最小とするために石英容器で構成されている。そして、ホーン形状のアンテナの周囲に配置された励磁コイルによってプラズマ生成室に磁界を発生させ、マイクロ波を導波管に接続された前記矩形あるいは円形のホーン形状のアンテナにより拡げ、プラズマ生成室へ導入しプラズマを発生させる。そして発生させた

プラズマを反対の磁性を持つ2つの環状のマグネットによってトーラス状の磁場がプラズマ生成室内に形成し閉じこめ均一なプラズマを発生するのである。この装置によって、200mm以上にわたって均一なプラズマの発生が可能となっている。

【0026】しかし、この装置においてもやはり、マイクロ波に関してはホーンアンテナにより捻げることしか考慮されず、マイクロ波の異常反射およびマイクロ波自身の電界分布を改善しプラズマを均一性良く効率的に生成することは考えられていなかった。

【0027】また、マイクロ波導入部分に関し、他の装置が提案されている（米国特許4,414,488号公報、米国特許4,409,520号公報、米国特許4,393,333号公報）。

【0028】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記のような従来技術では、マイクロ波の導波路の不連続に起因するマイクロ波の異常反射やマイクロ波の不均一の問題や、その結果生ずるプラズマの発生が非効率的で不均一であるという問題、あるいはプラズマの均一性の向上のために用いられるマルチカusp磁場やトーラス状磁場の発生の補助マグネット等付加的な手段により装置構成が複雑になるという問題があった。

【0029】本発明は、上記プラズマ生成室およびプラズマ導入部においてマイクロ波を均一に効率よく導入することにより、特に補助的な手段を用いずとも、プラズマを均一に効率よく安定的に生成させることが可能なマイクロ波プラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【0030】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明に係るマイクロ波プラズマ処理装置は、マイクロ波導入口が開口されたプラズマ生成室を備えたマイクロ波プラズマ処理装置において、前記マイクロ波導入口に面する前記プラズマ生成室の端部に、その全断面にわたってマイクロ波透過性物質が充填されて形成されたマイクロ波導入窓が配設されていることを特徴としている。

【0031】また、本発明に係るマイクロ波プラズマ処理装置は、マイクロ波導入口が開口されたプラズマ生成室を備えたマイクロ波プラズマ処理装置において、前記プラズマ生成室の内壁面と面一となるようにマイクロ波透過性物質が前記マイクロ波導入口に充填されて形成されたマイクロ波導入窓と、前記マイクロ波導入口に面する前記プラズマ生成室の端部にその全断面にわたってマイクロ波透過性物質が充填されて形成されたマイクロ波導入窓とを備えていることを特徴としている。

【0032】また、本発明に係るマイクロ波プラズマ処理装置は、マイクロ波導入口が開口されたプラズマ生成室を備えたマイクロ波プラズマ処理装置において、中心

部で薄く周辺にいくにしたがい厚くなる形状の誘電物質で形成されたマイクロ波導入窓を備えていることを特徴としている。

【0033】また、上記各マイクロ波プラズマ処理装置において、プラズマ生成室がマイクロ波導入口及びプラズマ引出口が開口された壁によって共振器的な構造となっていることを特徴としている。

【0034】

【作用】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置にあっては、マイクロ波の導入口及びこれに続くプラズマ生成室の一部をマイクロ波透過性の物質で充填して、マイクロ波の導波路の不連続（段差）に起因するプラズマの異常反射を抑えるとともに、さらにマイクロ波の電界分布に注目し、マイクロ波の導入部分およびプラズマ生成室内に配置されるマイクロ波透過性物質の形状、厚み等を変化させることによりプラズマ生成室内のマイクロ波の電界分布を均一化し、プラズマを均一に効率よく安定的に発生させるものである。

【0035】

【実施例】図1は本発明の一実施例であるマイクロ波プラズマ処理装置の縦断面図である。図中1はプラズマ生成室、2は導波管、3はエッチングあるいは成膜を施す試料Sを載置する試料台7が配置される試料室であり、4がプラズマ生成室1に磁界を発生させる励磁コイルである。

【0036】プラズマ生成室1は冷却水導入室1aによる水冷構造を備える中空円筒形をなし、マイクロ波に対して空洞共振器を構成するように形成されている。上部壁の中央にはマイクロ波導入口1cが形成され、更に下部壁中央には前記マイクロ波導入口1cと対向する位置にプラズマ引出口1dが形成されている。

【0037】前記マイクロ波導入口1cには導波管2の一端部が接続され、またプラズマ引出口1dに臨ませて試料室3が配設され、更に周囲にはプラズマ生成室1及びこれに接続された導波管2の一端部にわたってこれらを囲む態様でこれらと同心円状に励磁コイル4が配設されている。

【0038】導波管2の他端部は図示しないマイクロ波発生器に接続され、発生したマイクロ波をプラズマ生成室1内に導入するようにしてある。また励磁コイル4は図示しない直流電源に接続されており、直流電流の通流によって磁界を生成し、プラズマ生成室1内にマイクロ波を導入することによってプラズマを生成し、また励磁コイル4による磁界が試料室3に向かって磁界が減少する発散磁界であることを利用し、プラズマ生成室1内で生成したプラズマを試料室3へ引き出す構成となっている。

【0039】試料室3内には、前記プラズマ引出口1dと対向する位置に試料台7が配設され、その上にはウエハー等の試料がそのまま、または静電吸着等の手段によ

って着脱可能に載置される。また試料室 3 の下部壁には、図示しない排気装置による排気口 3 a が形成されている。

【0040】そして、本実施例においては、前記マイクロ波導入口 1 c 内におよびプラズマ生成室 1 におけるマイクロ波導入口 1 c に面する側の端部内に、マイクロ波透過性物質からなるマイクロ波導入口 8、9 がそれぞれ設けられている。マイクロ波導入口 8 は図 14 に示す従来の凸型のマイクロ波導入口 8 と実質的に同じであり、マイクロ波導入口 1 c の直径および幅に略等しい円板部 8 a の上端側にこれよりも大きい円形のフランジ部 8 b を設けて構成され、円板部 8 a をマイクロ波導入口 1 c に密にはめこみ、またフランジ部 8 b をマイクロ波導入口 1 c の外部周縁に図示せざる O リング等を介在させて気密状態に当接せしめてあり、この状態において、円板部 8 a の下端面はプラズマ生成室 1 の内壁面と面一となるようになっている。

【0041】また、マイクロ波導入口 9 は直径がプラズマ生成室 1 の直径と略等しく、また所定の厚みを有する円板状に形成され、プラズマ生成室 1 の上部壁及びマイクロ波導入口 8 の下面に接した状態でプラズマ生成室 1 の上端部に固定されている。マイクロ波導入口 9 の厚さはマイクロ波伝導理論においては、マイクロ波導入口 9 中を伝播する伝播波長の $1/4$ の整数倍とすることにより、このマイクロ波導入口 9 をマイクロ波が伝播する際の反射を防ぐことが可能となる。しかしより詳細な設計のためには、導波管、マイクロ波導入口 8、マイクロ波導入口 9、プラズマ生成室 1 についての、モードマッチング法による詳細な解析が必要となる。

【0042】実際に、図 1 におけるプラズマ生成室 1 の内径が 200 mm、マイクロ波が周波数 2.45 GHz の円形 TE₁₁ モードの場合において、石英ガラス板で形成されたマイクロ波導入口は厚みが 1.6 mm のとき、マイクロ波の反射が低減されることが確認された。

【0043】マイクロ波導入口に用いられるマイクロ波透過性物質としては石英ガラス、セラミックス (Al₂O₃、BN)、耐熱性高分子材料 (テフロン、ポリイミド) 等が用いられ、これらを一体形成する、あるいは粒状に形成しガラス性の隔壁内に収容した状態で図 1 に示すように配設しても良い。

【0044】ガス供給系 1 g、ガス供給系 3 g はそれぞれプラズマ生成室 1、試料室 3 に接続されている。特にガス供給系 1 g はプラズマ生成室 1 の上部壁及びマイクロ波導入口 9 を貫通せしめてプラズマ生成室 1 内の空間に接続されている。冷却水供給系 1 h と冷却水排水系 1 i によって冷却水導入室 1 a 内に冷却水を循環させる。このような図 1 に示された実施例の装置では、試料室 3 内の試料台 7 上に試料 S を載置し、プラズマ生成室 1、試料室 3 内に所要の圧力まで真空排気した後、プラズマ生成室 1、試料室 3 内にガス供給系 1 g、3 g を通じて、

所要のガス圧力が得られるようにガスを供給する。そして、励磁コイル 4 によってプラズマ生成室 1 内に電子サイクロトロン共鳴 (ECR) 励起に必要な磁界を形成しつつ、マイクロ波導入口 8、9 を介してプラズマ生成室 1 にマイクロ波を導入し、空洞共振器でもあるプラズマ生成室 1 でガスを電子サイクロトロン共鳴 (ECR) によって励起し、プラズマを生成させる。

【0045】生成したプラズマは励磁コイル 4 によって形成される発散磁界によって試料室 3 内の試料 S に向かって引き出され、試料 S 表面をエッチングあるいは試料 S 表面に成膜するのである。本発明装置においては、マイクロ波の反射電力はほとんどなく、またプラズマは安定し、そして均一なプラズマの発生によって、均一性の良いエッチングおよび薄膜形成を行えた。

【0046】図 2 は本発明に係る別の実施例を示す模式的断面図である。この例において、プラズマ生成室 1 中のマイクロ波導入口 1 c 側の壁面に置かれているマイクロ波導入口 9 は円錐台形ではなくぼんだ形をした下側の表面をもち、プラズマ生成室 1 の中心部分で最小の厚みを有し、その厚みは放射状に徐々に増加する。

【0047】TE₁₁₃ モードの電場強度は通常中心部分で高いので、図 2 に示された形状のマイクロ波導入口 9 を用いると電磁波に関してレンズ効果が得られ、その結果周辺の電界が相対的に増大し、プラズマの均一性が高まる。

【0048】図 3 は本発明に係るもう一つ別の実施例を示す模式的断面図である。この例において、マイクロ波導入口 2 9 の下側表面は部分的球形にくぼんでおり、それにより導入口 2 9 はマイクロ波導入口 1 c に相当する位置の厚みが最小になり、その厚みは周辺に向かって徐々に増加する。同時にマイクロ波透過物質で作られたライナー 2 9 a がプラズマ生成室 1 の側壁と下部壁をおおっている。ライナー 2 9 a はプラズマ生成室 1 で生成されたプラズマがプラズマ生成室 1 の周囲の金属壁に触れて重金属イオンが発生しプラズマに混入される結果生じる試料の汚染を除外することを可能にする。

【0049】石英ガラスがこの実施例でマイクロ波導入口 2 9 として使用される場合、中心の厚みは 1.6 mm で内表面の曲率半径は約 150 mm である。マイクロ波導入口 2 9 の厚みの分布或いは最適形状は、磁界強度の分布、ガス圧等により生成されるプラズマの特性、すなわちプラズマ密度やプラズマの誘電率の変化にあわせて、数値、形状を設定する。

【0050】図 1～3 に示された装置はエッチングや成膜装置に関して説明されているが、その範囲は決してこれら装置に限られるものではなく、スパッタリング装置やそのまゝ他の表面処理装置に適用することも可能である。

【0051】既に上述されているように、本発明はマイクロ波の場合に電界強度の均一性の向上、異常な反射を

抑えること、均一なプラズマ分布を得ること、そして真空の密封やコンタミの低減に関し非常に優れた効果を奏する。

【0052】本発明のさらに別の見方によると、誘電性マイクロ波導入窓すなわち変換器はマイクロ波透過率や電界分布を調節するために使用される。加えて、マイクロ波窓すなわち変換器は処理領域をマイクロ波透過系統から分離するための壁を提供できる。

【0053】図4aと図4bはそれぞれ本発明に係るマイクロ波窓或いは変換器100の透視図と断面図を示している。窓100は特徴的断面を有する誘電体の円板から成る。正確な断面形状は、物質の誘電率と望ましいマイクロ波透過や電界分布によって決定される。しかしながら、マイクロ波変換器としての窓100の通常の形は中心部の方が薄く端の方が厚い。

【0054】マイクロ波変換器の窓100の断面の大きさは導波管から処理領域へのマイクロ波透過をできるだけ効率的に利用するように、そして円板の外径でマイクロ波電界振幅を増やすように選ばれる。マイクロ波変換器の窓100はプラズマ源のイオン密度の均一性を向上させる。しかしながら、マイクロ波変換器の窓100は例えば乾燥、硬化、焼結のような空間的に均質なマイクロ波電場をもつ領域が望まれる他のマイクロ波処理装置にも有用である。さらに、マイクロ波変換器の窓100は処理領域をマイクロ波透過系統から分離する壁でもある。この壁はマイクロ波透過系統が処理領域とは違った温度、圧力、或いは化学的環境で作動する場合有用である。

【0055】一般にマイクロ波により電界を供給されるプラズマ源は均一な断面101(図5a)や102(図5b)或いは端よりも中心部で厚い断面(図5c)をもつ窓を利用する。これらのプラズマ源で作られるイオン密度は、プラズマ密度の均一性を向上させるために特別な磁場分布やマイクロ波のモード変換などの他の手段がとられなければ、プラズマ源の軸上ですなわち中心で最大値に達し外径に向かって減少していく。

【0056】マイクロ波変換器の窓100の長所はマイクロ波透過系統と処理領域間のインピーダンス適合の機能とマイクロ波透過系統を処理領域から物質的に分離する機能を兼ね備えた小型のハードウェアであることである。もっと重要なことは、マイクロ波変換器の窓100は窓の端部でマイクロ波電界を強めることである。例えば、マイクロ波プラズマ生成、物質のマイクロ波による硬化や乾燥、マイクロ波セラミック焼結のようなマイクロ波を利用する多くの過程はマイクロ波電界との相互作用にかかっている。これらの過程において、処理容積中のマイクロ波電界の振幅の制御は過程の均一性を制御する重要な要素である。本発明は処理容積の径方向におけるマイクロ波電界の振幅を変化させ、過程の均一性を向上させている。

【0057】マイクロ波変換器の窓100は電子サイクロトロン共鳴(E C R)プラズマ装置における反応性物質の均一性を向上させる。このプラズマ装置は半導体エッチングや成膜の装置として使われる。図6はマイクロ波プロセスに使われる変圧器の窓100と、それを用いたE C Rプラズマ源エッチング装置を示している。その装置はプラズマ生成室104、励磁コイル105、マイクロ波導波管106、ホーン107、反応室108、試料台109、試料移動機構110、ガス導入管111を備えている。図6に示したように、窓100は円筒状のマイクロ波の空洞106をプラズマエッチングやプラズマCVDの間、プラズマ生成室104を真空に保っている。マイクロ波発振器(図示せず)からのマイクロ波は導波管106、円錐台形のホーン107を通過し、窓100を通過して円筒状プラズマ生成室104に入る。窓100はプラズマ生成室104の直径と等しい直径をもっている。窓100の表面100aはホーン107中の空洞に面し、プラズマ生成室104の中心軸Aに垂直な平面に存在する。窓100の表面100bはくぼんでいる。

【0058】プラズマ生成室104の中で生成されたプラズマは、プラズマ生成室104の開いた端104aを通過して反応室104に入る。基板Sは反応室108内の試料台109の上に保持されている。基板搬送手段110は基板Sを出入口108aを通して試料台109に行ったり来たりさせる。

【0059】反応室108とプラズマ生成室104は出入口108bを通して適当な排気手段(図示せず)により減圧される。ガスはガス導入系111によりプラズマ生成室104へ直接供給される。またガスは反応室108にのみ供給されうるし、又、反応室108とプラズマ生成室104とに供給されうる。

【0060】プラズマ生成室104内においてウエハーをエッチングするための反応性物質(イオンとラジカル)が作られる。エッチング装置は均一なエッチングが要求される。エッチングの均一性を達成する1つの方法は、プラズマ生成室104をエッチングされるウエハーよりもずっと大きくすることである。この場合、プラズマ域の小さな部分だけがエッチングに利用され、そのような小さな範囲の反応物質の均一性を達成することは易しい。この方法は、直径3"~5"の大きさのウエハーには実用的である。しかしながら、直径6"以上のウエハーの場合、材料コストと装置の大きさの考慮がプラズマ生成室104内の広い範囲にわたる反応性物質の均一な分布を作る強い動機となる。本発明はプラズマ生成室104内のマイクロ波電場の均一性を向上させることができ、そのことにより反応性物質の均一性を向上させる。加えて、本発明は良好なインピーダンス適合と低圧腐食性プラズマのマイクロ波透過系統からの物質的分離を実現できる。

【0061】反応性物質はプラズマ生成室104内でプラズマ生成室104に導入されるガス分子に加速された電子が衝突することにより作られる。励磁コイル105によりプラズマ生成室104内の磁界を作る。サイクロトロン周波数は次のようにして得られる。

【0062】

【数1】 $f = 2 \pi q B m = 2.8 \text{ GHz} / \text{KG} \quad B$
(in KG)

q = 電子の電荷

B = 磁場強度

m = 電子の質量

プラズマ生成室104に導入された右まわり円偏波により電子が共鳴的に加速されエネルギーを得て反応性物質を生成する。電子加速はマイクロ波電界の振幅に比例する。反応性物質を均一に作るため、マイクロ波電界は均一でなければならない。しかしながら、プラズマ生成室内でマイクロ波を導入する従来の技術は均一でないマイクロ波電界のパターンを作っている。

【0063】図7は、金属壁で形成された円形導波管内を伝播するマイクロ波電界のいくつかのモードのパターンを示している。(図10に示されているように) TEモードが従来、TMモードよりECRの相互作用において効果的に電子を加速するため、使われている。また、TMモードも、TM_{in}モードを除いて、軸上小さな横の電界振幅をもっており、それは均一でないプラズマ生成に役立つ。他方、TEモードはプラズマ生成室の壁近くで電界が小さくなる。均一な電界分布を得るには、いくつかのモードと一緒に励起することが必要である。マイクロ波変換器の窓100はプラズマ生成室104の境界での条件を変え、いろいろな組み合わせのマイクロ波モードを励起し、プラズマ生成室104の周縁部のマイクロ波電界振幅を従来のTEモードの場合よりも増加させる。

【0064】処理容積の外径におけるマイクロ波電界振幅の増加の量的計算は、物質の正確な形と誘電特性、窓付近でマイクロ波モードを励起するための条件を含む綿密な計算を必要とする。これらの計算はシミュレーションにより行われることが多い。導かれる波に関する分散関係式は以下の数式で表される。

【0065】

【数2】

$$\lambda f = c / \sqrt{\epsilon} \rightarrow \lambda = c / f \sqrt{\epsilon}$$

λ = 導かれたマイクロ波の波長

f = マイクロ波の周波数

c = 真空状態での光の速さ

ϵ = 誘電率

$\sqrt{\epsilon}$ = 屈折率

【0066】このような関係から、誘電率が増加するにつれて、導かれたマイクロ波の波長は減少する。より高

い誘電率をもつ物質がそれより低い誘電率の領域を取り囲む状況では、電界はより高い誘電率の物質内に集まる傾向がある。波長は高い誘電率の物質の中でより短いので、比例してより多いマイクロ波エネルギーがそこに集まる。正味の効果はあたかも誘電率の低い方の領域のマイクロ波エネルギーを誘電率の高い方の物質の中に引き込んだようなものである。それゆえ、2つの誘電媒体の間の境界面において、マイクロ波電界振幅は高められる。導波管の「有効直径」は、マイクロ波の波長が誘電率のより高い物質内でより短いので、より大きくなるということである。

【0067】図9a~9eは、外周部誘電体挿入物をもつ円筒形導波管中のTE₁₁モードの電界と電界振幅の計算結果を示している。図9aは誘電体挿入物のない場合の電界パターンを示している。図9bはおおよそ石英に相当する誘電率2.5を有する挿入物のある場合の電界パターンを示している。図9cはおおよそ酸化アルミニウムに相当する誘電率9を有する挿入物のある場合の電界パターンを示している。誘電体挿入物の誘電率が厚みのいずれかを増やすことにより、誘電体物質の内側の領域の電界振幅の均一性を向上させることができる。

【0068】図10は窓100の変形を示している。特に窓112は一方の側に平面112aをもち、他方の側に球形のくぼんだ表面112bをもつ石英から形成される。球形の表面112bの半径は100cm、窓112の直径は200cmであっても良い。窓112は平面112aに隣接する窓112の端にフランジ112cを含んでいる。フランジ112cは、窓112を留め、窓112と窓112が留められているのと反対の部分の間に1つ以上のOリングのような適当な手段で真空を封じる手段を与える。例えばOリングが外周辺112dの回りに置かれ、フランジ112cに突きあてられて窓112をプラズマ生成室104に留めることができる。

【0069】窓100は円筒形および、又は軸断面が矩形の導波管と共に使われる。同様にプラズマ生成室104も円筒形で、矩形であるか他の断面形状をもちうる。窓100は電場のモードパターンを変えられるという意味で変換器として働く。特に、窓100は電気エネルギーをプラズマ生成室104内に望ましいパターンで分布させ、他方付加的機能であるプラズマ生成室104の密封機能を果たしている。窓100はマイクロ波エネルギーがホーン107の有無にかかわらずより均一な方法で導波管106から拡散されるようにする。しかしながら、導波管106と窓100との間にホーン107のような過渡部分を付加することが望ましい。ホーン107はマイクロ波エネルギーを望ましいモード(例えば円筒形導波管に関しTE₁₁₀モード)に保つため、なめらかな内表面をもつことが望ましい。

【0070】本発明の特に優れた点は従来のプラズマ生成装置ではプラズマ生成室と反応室の間に通常あるプラ

ズマ引出口を形成する下部壁が、そのような装置で窓 100 が使われる場合必要がなくなることである。その理由は窓 100 がプラズマ生成室のほとんどのに渡り、(例えば、中心軸 A からプラズマ生成室 104 の内壁までの距離の 3/4 の距離) 実質的に同じプラズマ密度を供給できることである。このように大きな範囲をおおう、より均質なプラズマが反応室 108 に引き出される。しかしながら、窓 100 はプラズマ生成室 104 と反応室 108 の間の引出口のある壁をもつプラズマ装置でも有効に使われうることを示しておかなければならない。もし望まれるなら、1 つ以上の引出電極のような引出装置がそのような引出口に置かれうる。さらに、窓 100 は励磁コイル 105 がそのような装置で省かれても優れた結果を出す。

【0071】窓 100 の詳細な形はいくらかは材料の選択にかかっている。一般に、石英 (SiO_2)、BN、ガラスのような誘電率が低い方の材料が珪素窒化物 (Si_3N_4)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、ジルコニア (ZrO_2) 或いは二酸化チタン (TiO_2) のような誘電率が高い方の材料と同等に窓として働くには、より厚い物質の大

きさが必要である。表 1 は本発明に関するさまざまな形と材料に関するデザインの考慮を要約している。

【0072】窓 100 は誘電物質の単体で形成されることが好ましい。しかし窓 100 は複数の部分から成ることも可能である。例えば、図 6 b で示されているように、窓 100 は誘電物質の第一の円板 100 c とそれにつながれた或いは隣接する第二の誘電物質の凹レンズ形の部分 100 d から構成されうるだろう。そのように分かれた部分 100 c と 100 d は同じ誘電物質でできていてもよいし、同じ或いは違う誘電率をもつ違った誘電物質からできていてもよい。また、窓 100 は任意に表面 100 a と 100 b の両方或いは一方に 1 つ以上の被膜を含むことができる。

【0073】例えば、被膜 100 e は表面 100 b 上に与えられうる。被膜 100 e はホウ素窒化物や二酸化珪素のような誘電物質であってもよく、窓 100 はアルミニウム窒化物か酸化アルミニウムであってもよい。

【0074】

【表 1】

物質特性	誘電率	その他
ホウ素窒化物	3.5	低いマイクロ波吸収 珪素処理と両立
石英	4	熱衝撃耐性良好 低いマイクロ波吸収 珪素のエッチング等の処理と両立
珪素窒化物 (Si_3N_4)	7	熱衝撃耐性良好 400℃以上でマイクロ波を強く吸収し それから昇華 珪素のエッチング等の処理と両立
酸化アルミニウム (Al_2O_3)	9	熱衝撃耐性乏しい 低いマイクロ波吸収 (但し石英より高い) ロケットエンジンに非常に抵抗力あり
ジルコニア (ZrO_2)	27	熱衝撃耐性良好 マイクロ波吸収 (700℃以上で高吸収)
二酸化チタン (TiO_2)	81	強くマイクロ波吸収 純度と化学量論の強い機能

【0075】図 11 a ~ 11 g は本発明の窓のさまざまな形状を示している。図 11 a はくぼんだ表面が円錐形である窓 113 を示している。図 11 b はくぼんだ表面が円錐形の中心部分と円錐台形の外側部分で段をなし、その円錐台形部分の表面は円錐形部分の表面よりもう少し程度に先細りしている窓 114 を示している。図 11 c はくぼんだ表面が双曲線状の窓 115 を示している。

【0076】図 11 d はくぼんだ表面が放物線状である窓 116 を示している。図 11 e はくぼんだ表面が球形である窓 117 を示している。図 11 f は横断面が正方

形あるいは矩形でくぼんだ表面がピラミッド形で 4 つの三角面でできている窓 118 を示している。図 11 g は横断面が正方形或いは矩形でくぼんだ表面が 4 面のピラミッド状の中心部分と 4 面の切頭体の外部分で段をなし、その切頭体の外部分はピラミッド形の中心部分より少ない程度に先細りしている窓 119 を示している。

【0077】図 12 a ~ 12 c は何らかの応用に有用かもしれない本発明の変形を示している。この場合、組み合わせられた物質の厚みと誘電率は光ファイバーの全内部反射と同様に、誘電物質内のマイクロ波パワーのほとん

どを含むのに十分である。誘電体の内側がこのような形状の場合、マイクロ波電界振幅は、誘電体の内部で最大になり、プラズマ生成室の中心に向かって指数的に減少する。

【0078】図12aは窓120のくぼんだ表面120bの中心の円錐形部分が金属シールド121におおわれ、プラズマ生成室122が励磁コイル（示さず）に取り囲まれている本発明の具体例を示している。窓120はプラズマ生成室122のプラズマ生成領域を定めるくぼんだ表面120bをもち、プラズマ生成室122い

っぱいの長さに拡がっている。図12bはマイクロ波電場 $|E|$ のほとんどが Z_1 点で窓120の中に含まれることを示している。E C R点は、 Z_2 点に位置する。図12cはプラズマの誘電率がE C R点の近傍では窓120の誘電物質よりずっと大きいため、電場 $|E|$ がE C R点近傍でプラズマを透過することを示している。

【0079】図12aで示された配置では、マイクロ波エネルギーはマイクロ波導波管（示さず）を通して、プラズマ生成室122の方向に拡がる直径をもつ過渡領域に送られる。過渡領域はホーン123の内側の円錐形表面により定められる。窓120の平面120aはホーン123の内側に面し、くぼんだ面120bはプラズマ生成室122内のプラズマ生成領域に面し、それを決定している。プラズマ生成室122は窓120の外周辺を取り囲む金属壁124を含んでいる。壁124の放射状に拡がった部分は窓120の環状の端の表面をおおっている。シールド121はマイクロ波パワーがE C R点に達するまで誘電物質の中に含まれていることを確かにするために使用される。しかしながら、図12aに示された

【0080】

【発明の効果】以上の説明により明らかなように、本発明に係るマイクロ波プラズマ処理装置によれば、マイクロ波の低い反射率を実現することができ、また安定的効果的に均一なプラズマを生成させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係るマイクロ波プラズマ処理装置を示す縦断面図である。

【図2】本発明の別の実施例に係るマイクロ波窓の配列を示す模式的断面図である。

【図3】本発明のさらに別の実施例に係るマイクロ波窓の配列を示す模式的断面図である。

【図4】本発明の一実施例に係るマイクロ波窓の透視図と断面図をそれぞれ示している。

【図5】従来のマイクロ波窓を示す断面図である。

【図6】図4（a）及び（b）で示されたマイクロ波窓を含む装置を示す断面図である。

【図7】金属壁で形成された円形導波管内で励起されたマイクロ波の電界のパターン（TEモード）を示している。

【図8】金属壁をもつ円形導波管内で励起されたマイクロ波の電界のパターン（横磁性TMモード）を示している。

【図9】（a）は、誘電体挿入のない場合のTE₁₁モードについての領域パターン $|E|$ を示している。

（b）は、誘電率2.5の環状挿入のある場合のTE₁₁モードについての領域パターン $|E|$ を示している。（c）～（e）は、誘電率9で、挿入物の外径が同じで内径が11cから11eへと小さくなっている環状挿入のある場合のTE₁₁モードについての領域パターン $|E|$ を示している。

【図10】図4（a）で示された窓の変形を示している。

【図11】（a）は、図4（a）で示された窓の変形で、くぼんだ表面が円錐形であるものを示している。

（b）は、図4（a）で示された窓の変形で、くぼんだ表面が円錐形の中心部分と円錐台形の外部分をもつ段状になっており、円錐台形部分の表面は円錐部分の表面より少ない程度に先細りしているものを示している。

（c）は、図4（a）に示された窓の変形で、くぼんだ表面が双曲線状であるものを示している。（d）は、図4（a）に示された窓の変形で、くぼんだ表面が放物線状であるものを示している。（e）は、図4（a）に示された窓の変形で、くぼんだ表面が球形であるものを示している。（f）は、図4（a）に示された窓の変形で、くぼんだ表面が、横断面が四角形で形はピラミッド状に4つの3角面からできているものを示している。

（g）は、図4（a）に示された窓の変形でくぼんだ表面が横断面が四角形で4面のピラミッド状中心部分と4面の切頭体の外部分をもつ段状になっており、その切頭体の外部分はピラミッド状の中心部分より少ない程度に先細りしているものを示している。

【図12】図4（a）に示された窓の別の変形で、くぼんだ表面の中心の円錐形部分が金属シールドにおおわれ、窓がプラズマ生成室の長さいっばいに拡がり、窓のくぼんだ表面がプラズマ生成室のプラズマ生成領域を作っているものを示している。（b）は、図12（a）の Z_1 点でマイクロ波電界のほとんどが誘電窓の中に含まれることを示している。（c）は、図12（a）の Z_2 点で電場がプラズマを透過し、 Z_2 点はE C R点に該当

することを示している。

【図13】プラズマ処理装置の部品の従来の配列の模式的断面図である。

【図14】プラズマ処理装置の部品の従来の配列の模式的断面図である。

【符号の説明】

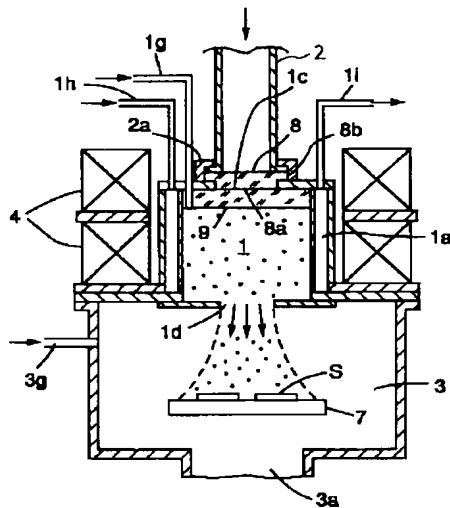
1c マイクロ波導入口

1 プラズマ生成室

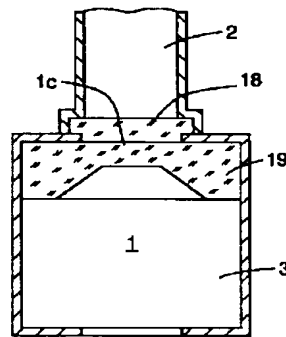
8、9 マイクロ波導入口

1d プラズマ引出口

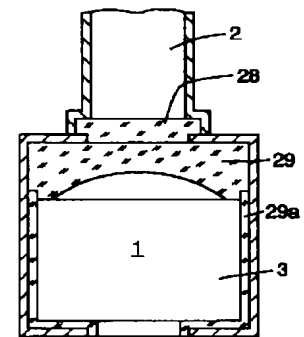
【図01】



【図02】

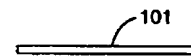


【図03】



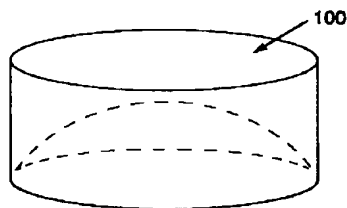
【図05】

(a)

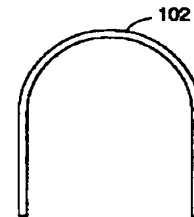


【図04】

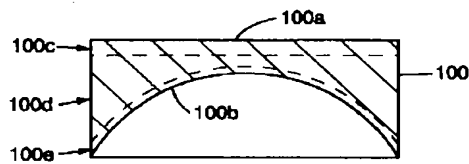
(a)



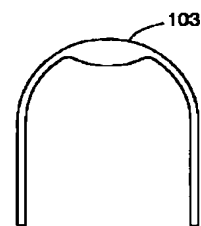
(b)



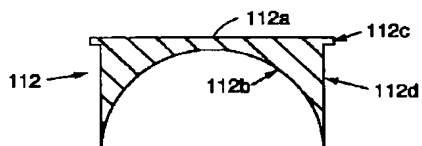
(b)



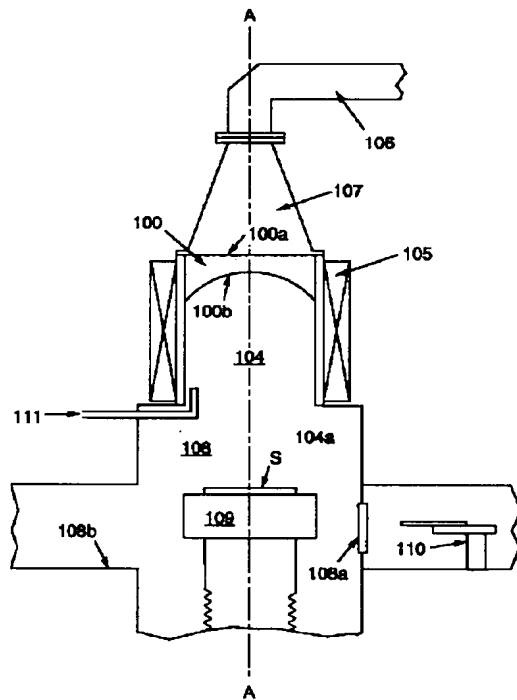
(c)



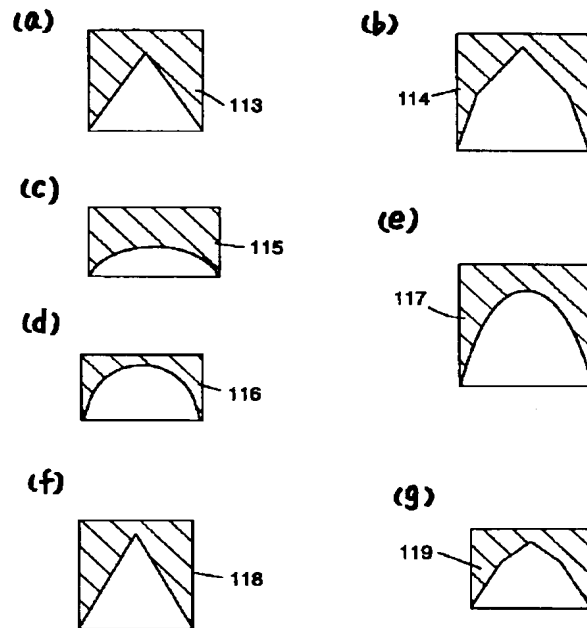
【図10】



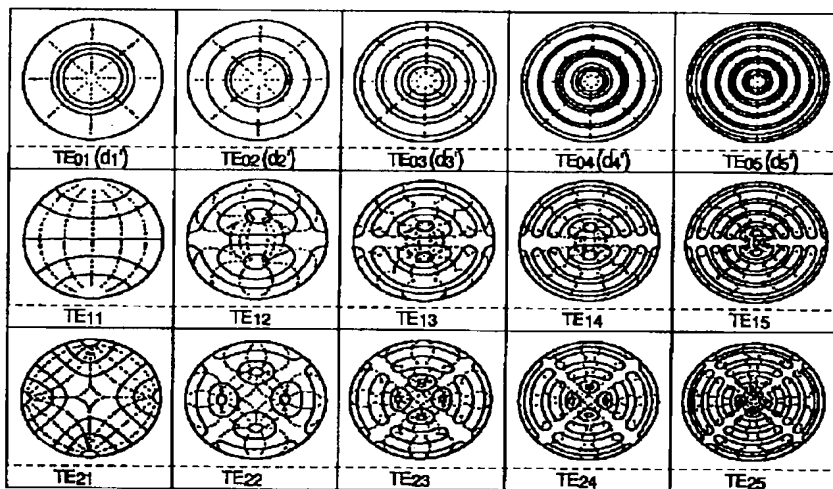
【図 06】



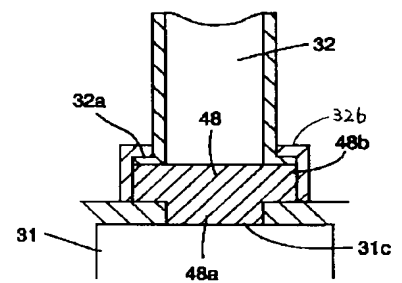
【図 11】



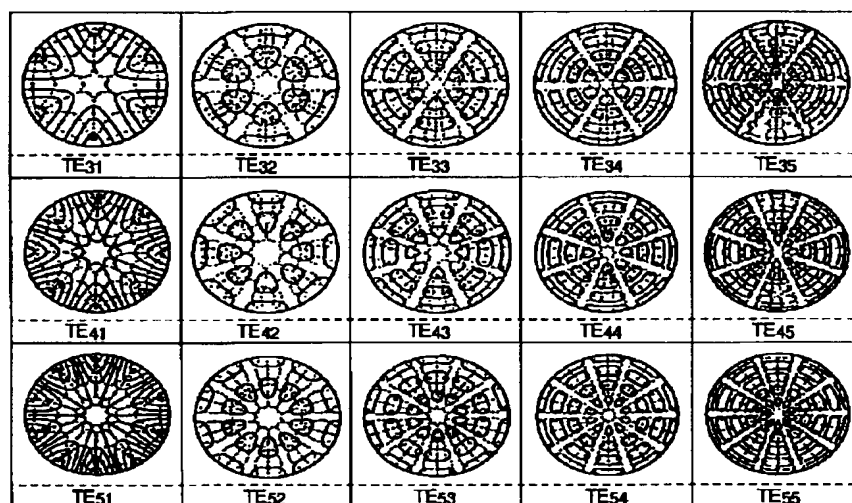
【図 07 の 1】



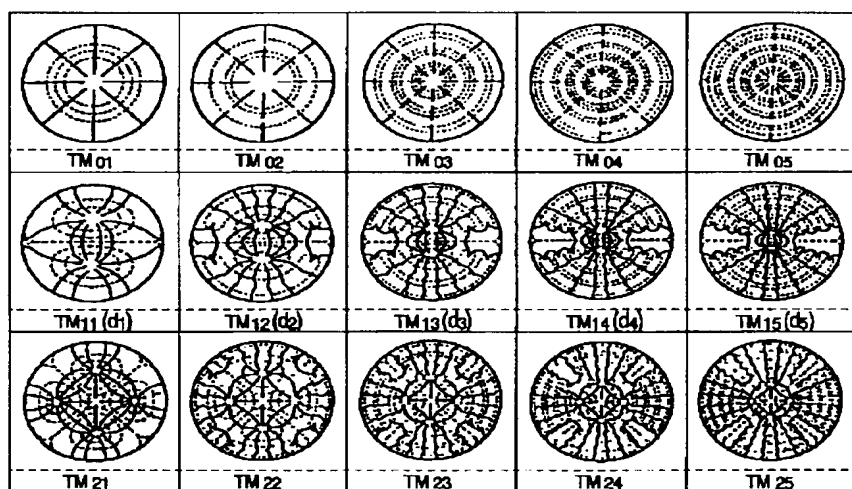
【図 14】



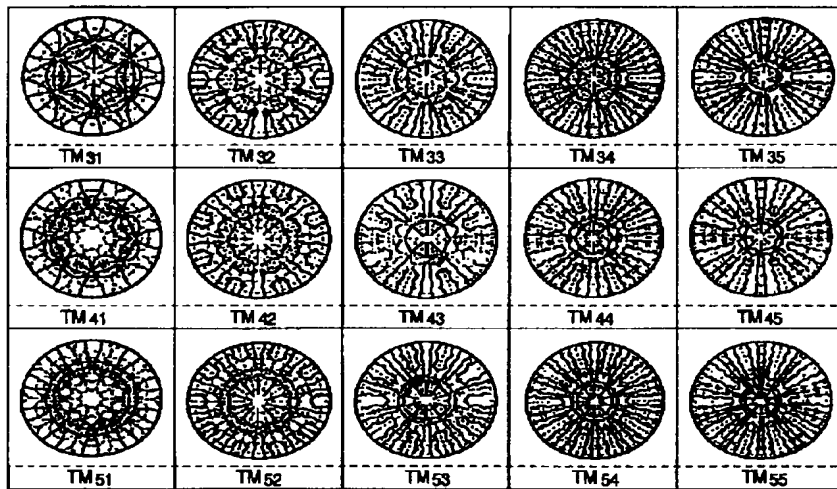
【図 07 の 2】



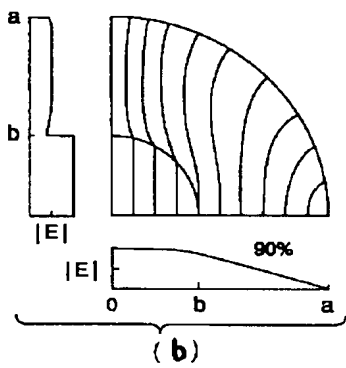
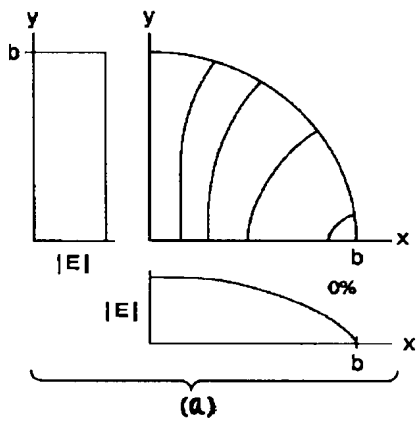
【図 08 の 1】



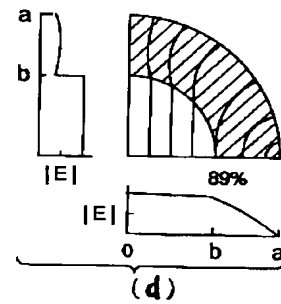
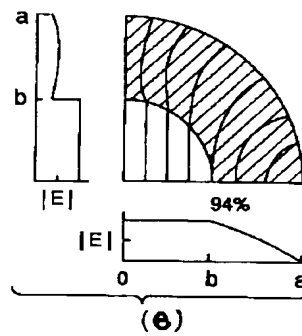
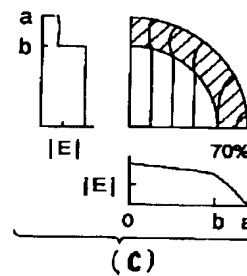
【図 08 の 2】



【図 09 の 1】

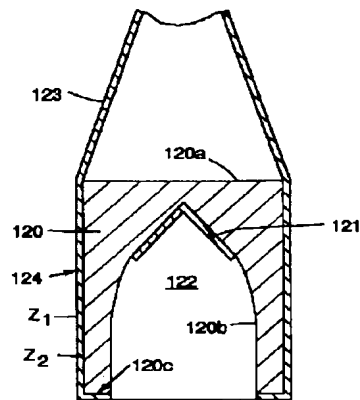


【図 09 の 2】

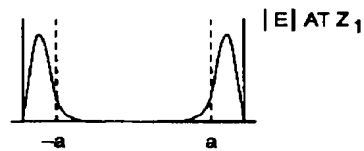


【図 12】

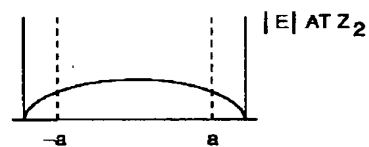
(a)



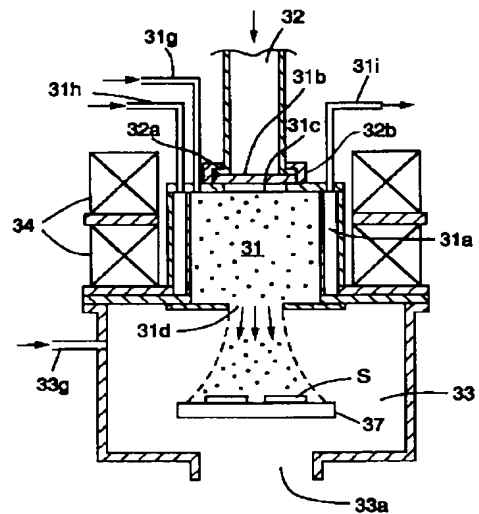
(b)



(c)



【図 13】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶
H O I L 21/3065
21/31
H O I P 7/06

識別記号 庁内整理番号

C

F I

技術表示箇所

(72) 発明者 チン ファー チェン
アメリカ合衆国, カリフォルニア 95035,
ミルピタス, ウェストリッジドライブ,
977
(72) 発明者 デビッド パークル
アメリカ合衆国, カリフォルニア 95075,
ソクェル, ギャラリードライブ 2588

(72) 発明者 井上 卓
東京都千代田区大手町一丁目 1 番 3 号 住
友金属工業株式会社内
(72) 発明者 宮原 俊二
東京都千代田区大手町一丁目 1 番 3 号 住
友金属工業株式会社内
(72) 発明者 田中 雅彦
東京都千代田区大手町一丁目 1 番 3 号 住
友金属工業株式会社内